

УДК 620.193:621.643

РОЗРОБКА РЕГРЕСІЙНИХ РІВНЯНЬ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСУ ЗГИНІВ ТРУБОПРОВОДІВ ДРУГОГО КОНТУРУ АЕС

В. П. Кравченко

Доктор технічних наук, професор
Кафедра атомних електричних станцій
Одеський національний політехнічний університет
пр. Шевченко, 1, м. Одеса, Україна, 65044
Контактний тел.: 050-390-17-92
E-mail: vpkrav@rambler.ru

В. С. Медвинський

Оператор реакторного відділення
Южно-Української АЕС
м. Южноукраїнськ, Україна, 55000
E-mail: medvinskiiv@mail.ru

Приведені регресійні рівняння для опису зміни товщини стінки згинів трубопроводів технологічних систем другого контуру АЕС від часу експлуатації. Проведено співставлення різних видів регресійних рівнянь. Визначена похибка розрахунку прогнозованої товщини стінки

Ключові слова: згини трубопроводів, прогнозування зносу

Приведены регрессионные уравнения для описания изменения толщины стенки гибов трубопроводов технологических систем второго контура АЭС от времени эксплуатации. Проведено сопоставление разных видов регрессионных уравнений. Определена погрешность расчета прогнозированной толщины стенки

Ключевые слова: гибы трубопроводов, прогнозирование износа

In article features of working process small regressions are resulted for description of pipelines bends wall thickness change from exploitation period. Comparison of different types of regressive equalizations is conducted. The error of calculation of the forecast wall thickness is certain

Key words: bends of the pipelines, forecasting of wear

1. Вступ

Контролювання стану технологічних трубопроводів на АЕС почалося з 1986 р. після аварії на блоці „Сарі-2” (США) [1], що відбулася на дев'ятому році експлуатації. Остання крупна аварія була на японській АЕС „Міхама-3” у 2004 р. після 24 років роботи. Аварії на трубопроводах другого контуру впливають не тільки на ефективність роботи АЕС, але й на безпеку. Основним засобом боротьби з цим явищем є контролювання зміни товщини стінки та прогнозування зносу.

Більшість держав, які мають АЕС, розробляють комп'ютерні програми (КП) прогнозування зносу технологічних трубопроводів, що дозволяють передбачати і запобігати аварії. Такі КП вже використовуються у США, Німеччині [2] та Росії, але висока їх вартість та необхідність адаптації до умов конкретних АЕС висувають задачу створення вітчизняних КП для вирішення аналогічних задач.

2. Методика та результати розрахунків

Зарубіжні комп'ютерні програми створені на основі динамічних багаточинникових залежностей, що вра-

ховують вплив теплогідравлічних, конструктивних і експлуатаційних параметрів на процес корозійно-ерозійних руйнувань. Складність цього підходу полягає в необхідності проведення багаточинникового експерименту, що враховує всі впливаючі параметри. Використовування напрацьованого експериментального матеріалу інших дослідників ускладнюється тим, що експеримент, як правило, проводиться щодо одного-трьох незалежних змінних, при цьому про інші параметри, що є постійними в експерименті, часто не згадується. Проте привабливість отримання універсального рівняння, що дозволяє визначати ступінь корозійних або ерозійних пошкоджень, або результату їх сумісної дії, надзвичайно висока.

В даній роботі використовується метод побудови регресійних залежностей за результатами замірів товщини стінки трубопроводу протягом певного терміну. Елементи трубопроводів слід класифікувати за групами, які об'єднують елементи з однаковими характерними ознаками. До цих ознак відносяться: теплогідравлічні параметри (температура, тиск, швидкість потоку), водно-хімічні показники (рН, концентрація O_2), хімічний склад металу (вміст міді, хрому, марганцю) та геометричні особливості даного вузла. Потім, на базі статистичних даних, зібраних з конкретного

об'єкту на окремому підприємстві, використовуючи методи математичної статистики, будуються апроксимуючі залежності, що дозволяють оцінювати зміну технічного ресурсу трубопроводу в часі. Такий підхід до прогнозування має свої переваги і недоліки. Перевагою є швидкість і простота отримання кінцевого результату. Недолік - неможливість прогнозування при зміні параметрів, що вважалися постійними при складанні апроксимуючої залежності.

З приводу даного методу прогнозування, окрім вказаних вище вимог до постійності експлуатаційних параметрів, слід зробити наступне зауваження. Розглянуті моделі самонавчаються в тому значенні, що

при збільшенні кількості вимірів, тобто зі збільшенням часу експлуатації контрольованої ділянки, точність прогнозу зростає. Таким чином, ефективність прогнозу при використуванні регресійного аналізу залежить від наявності бази даних, що має бути ретельно спланована та регулярно поповнюватися. В той же час цей метод буде абсолютно неефективним і навіть шкідливим для устаткування, що тільки вводиться або істотно модернізується, де ще відсутня узагальнена статистика.

Ціль роботи визначити вид залежності зміни товщини стінки для деяких елементів трубопроводів другого контуру АЕС, відпрацювати методику їх отримання та визначити похибку їх використання.

Таблиця 1

Залежності зносу товщини стінки згинів трубопроводів та похибка розрахунку

№ п/п	Технологічна система	Найменування ділянок трубопроводів	Згин	Вигляд залежності товщини стінки y (мм) від часу x (роки)	Похибка, %
1	Живильна вода	Трубопровід живильної води	20-21	$y = -0,9x^2 + 1,01x + 7,6$	3,35
2			14-15	$y = 18,916x - 0,0223$	5,87
3			126-13	$y = 18,9x^{-0,0277}$	0,49
4			4-7зб	$y = -0,7x^2 + 4,8x + 10,9$	1,37
5			59-60	$y = -0,09x + 28,5$	0,80
6			64-65	$y = -0,04x + 22,2$	0,61
7			83-84(1)	$y = -0,01x + 5,4333$	0,34
8			89-90(1)	$y = -0,08x + 9,3$	4,08
9			95-96(1)	$y = -0,05x + 7,6$	7,21
10			101-102(1)	$y = -0,02x + 6,1$	6,74
11			64-65(а)	$y = -0,09x + 28,35$	1,24
12			59-60	$y = -0,1x + 29,8$	3,55
13			100(1)-102(1)	$y = -0,02x + 7,4667$	2,04
14		Всмоктуючий трубопровід ТПН	34	$y = 12,9137x - 0,1365$	2,64
15			12	$y = 9,9687x - 0,0582$	5,72
16			32	$y = 8,9705x - 0,0544$	4,80
17			10	$y = -0,01x + 9,2$	2,97
18	Конденсат гріючої пари	Дренажний від ПВТ	35-1-36-1	$y = 4,9967x - 0,1168$	7,01
19		Конденсат ПВТ-6	58-60	$y = 25,482x - 0,218$	9,11
20		Дренаж відбору	29-30	$y = 15,958x - 0,0907$	7,07
21			28-29	$y = -0,09x + 19,033$	9,16
22			21-22	$y = -0,1x + 19,167$	9,18
23	Промперегрів і сепарат	Трубопровід сепарату	83-84	$y = 14,008x - 0,01101$	7,98
24	Основний конденсат	Трубопровід основного конденсату	38зб-39зб	$y = -0,01x + 9,47$	1,99
25			35зб-36зб	$y = -0,33x^2 + 0,35x + 6,8$	5,52
26			19-36за	$y = -0,01x + 8,6333$	3,93
27			35-35за	$y = -0,03x + 10,3$	7,37
28			26за-27за	$y = -0,01x + 8,1667$	3,56
29			4-4за	$y = -0,1x + 16,1$	5,55
30	Відбір пари високого тиску турбіни	І відбір на ПВТ-7	13-14	$y = -0,05x^2 + 0,05x + 12,5$	3,20
31		ПВТ. Згини колекторів турбіни	39(7)-38(4)А	$y = -0,001x^2 + 0,2x + 21,1$	0,29
32			39(5)-39(6)А	$y = -0,01x + 32,433$	0,76
33			39(1)-39(2)Е	$y = -0,15x + 48,267$	0,76
34			39(3)-38(6)Е	$y = 31,866x^{-0,0106}$	4,48
35			39(4)-39(3)Е	$y = 31,847x^{-0,0271}$	4,32
36	Дренажна система турбіни	Дренажний трубопровід 1-го відбору	2-3	$y = -0,01x + 4,9$	8,69
37	Гостра пара	Паропровід свіжої пари	32-33	$y = 29,955x - 0,0614$	5,98

Для статистичної обробки була взята база даних замірів товщини стінки трубопроводів енергоблоку Запорізької АЕС за період з 1986 р. по 2000 р.

Для аналізу з розглянутої бази були обрані елементи, які мали три заміри. Цими елементами є згини. Далі, враховуючи значення номінальної товщини стінки та два заміри, за допомогою числових методів були отримані регресійні залежності зміни товщини стінки від часу. Для кожного з обраних елементів було проведено співставлення різних видів залежності за значеннями коефіцієнта кореляції (R). У результаті була вибрана залежність, яка найкраще описує результати замірів, тобто та, що має значення R, найближче до одиниці. У табл.1 наведено отримані залежності для 37 згинів 1-го блоку Запорізької АЕС. За допомогою цих залежностей була розрахована товщина стінки, яка відповідає третьому заміру, та порахована похибка розрахунку.

З даних, наведених у табл. 1 (у – товщина стінки через x років) видно, що з 37 елементів 12 (32,5%) найкраще описуються степеневою залежністю, 5 (13,5%) – поліноміальною другого степеня, 20 (54%) – лінійною. Звідси витікає, що переважна більшість елементів краще описується лінійною залежністю. Це суперечить даним [3], де стверджується, що знос найкраще описується експоненціальною залежністю. Отримані результати можна пояснити відносно малими відрізками часу, на якому були зроблені заміри.

Вказані елементи були об'єднані у групи за однаковою товщиною стінки та причетністю до однієї з технологічних систем. Для кожної з цих груп були отримані експоненціальні та лінійні залежності зносу. Результат наведено у табл. 2. Співставлення отриманих лінійних та експоненціальних залежностей для трубопроводів окремих технологічних систем показує, що експоненціальний вид має перевагу.

Для прикладу використання розробленої методики проведемо прогнозування зміни товщини стінки згинів трубопроводів живильної води від ПВТ до парогенератора. В табл. 3 надано перелік всіх елементів, що входять в цю технологічну схему.

Знайдемо залишковий ресурс згинів трубопроводів типорозміру 530х28. Розрахункова товщина стінки за період від пуску до літа 2010 р.:

$$\delta_{\text{ст.розрах}} = y = 23,201e^{-0,0009x} = 23,201 e^{-0,0009 \cdot 25} = 22,68 \text{ мм},$$

де $\tau = x = 25$ років – час від пуску першого блоку ЗАЕС.

Середня швидкість зносу стінки:

$$w = \frac{\delta_{\text{ст.ном.}} - \delta_{\text{ст.розрах.}}}{\tau_{\text{експл.}}} = \frac{28 - 22,68}{25} = 0,2128 \text{ мм / рік}.$$

Розрахунковий ресурс роботи до допустимої товщини стінки:

$$\tau_{\text{ресурс}} = \frac{\delta_{\text{ст.ном.}} - \delta_{\text{допуст.}}}{w} = \frac{28 - 22,5}{0,2128} = 25,8 \text{ років}.$$

Залишковий ресурс: $\tau_{\text{залишк.рес.}} = 25,8 - 25 = 0,8$ років < 2.

Висновок: Контроль згинів 530х28 в подальшому обов'язковий. В наступний ППР скоріше за все ці згини треба буде ремонтувати (замінити).

Розглянемо згини типорозміру 426х24. Розрахункова товщина стінки за період від пуску до літа 2010 р.:

$$\delta_{\text{ст.розрах}} = y = 20,182e^{-0,0022x} = 20,182e^{-0,0022 \cdot 25} = 19,1 \text{ мм}.$$

Таблиця 2

Залежності зміни товщини стінки груп трубопроводів та похибка розрахунку

Технологічна система	Найменування ділянок	Експоненціальна та лінійна залежності	Похибка, %
Відбір пари ВТ турбіни	ПВТ. Згини колекторів турбіни $\delta_{\text{ст.ном.}} = 32 \text{ мм}$	$y = 31,59e^{-0,0005x}$ $y = -0,0157x + 31,595$	1,65 19,54
Живильна вода	Трубопровід рециркуляції насоса $\delta_{\text{ст.ном.}} = 19 \text{ мм}$	$y = 19,271e^{-0,0021x}$ $y = -0,0375x + 19,232$	4,92 21,363
	Трубопровід живильної води $\delta_{\text{ст.ном.}} = 24 \text{ мм}$	$y = 24,182e^{-0,0022x}$ $y = -0,0478x + 24,14$	6,90 16,0
	Трубопровід живильної води $\delta_{\text{ст.ном.}} = 6 \text{ мм}$	$y = 5,9846e^{-0,004x}$ $y = -0,0216x + 5,9702$	6,73 17,88
	Всмоктуючий трубопровід ТПН $\delta_{\text{ст.ном.}} = 9 \text{ мм}$	$y = 8,7151e^{-0,0012x}$ $y = -0,0093x + 8,7249$	6,28 31,56
Основний конденсат	Трубопровід основного конденсату від $\delta_{\text{ст.ном.}} = 9 \text{ мм}$	$y = 8,9897e^{-0,0011x}$ $y = -0,0092x + 8,9847$	9,81 22,63
Живильна вода	Трубопровід живильної води $\delta_{\text{ст.ном.}} = 19 \text{ мм}$	$y = 24,256e^{-0,0024x}$ $y = -0,0517x + 24,17$	3,98 12,75
Конденсат грійної пари	Трубопровід дренажу відбору $\delta_{\text{ст.ном.}} = 14 \text{ мм}$	$y = 13,336e^{-0,0027x}$ $y = -0,0317x + 13,334$	10,40 31,59

Таблиця 3

Основні елементи схеми трубопроводів живильної води від ПВТ до парогенераторів

Найменування	$d_n, \text{мм}$	$\delta_{\text{ст.ном.}}, \text{мм}$	Кількість	
			шт.	%
1. Зварне з'єднання	530	28	12	10,62
2. Згин трубопроводу	530	28	2	1,77
3. Трійник	530	28	1	0,885
4. Зварне з'єднання	426	24	4	3,54
5. Трійник	426	24	13	11,50
6. Зварне з'єднання	426	24	56	49,56
7. Згин трубопроводу	426	24	14	12,39
8. Засувка	426	24	5	4,42
9. Регулюючий клапан	426	24	3	2,65
10. Витратомірна шайба	426	24	3	2,65
Всього:			113	100

Середня швидкість зносу стінки:

$$w = \frac{\delta_{\text{ст.ном.}} - \delta_{\text{ст.розрах.}}}{\tau_{\text{експл.}}} = \frac{24 - 19,1}{25} = 0,196 \text{ мм / рік}.$$

Розрахунковий ресурс роботи до допустимої товщини стінки:

$$\tau_{\text{ресурс}} = \frac{\delta_{\text{ст.ном.}} - \delta_{\text{допуст.}}}{w} = \frac{24 - 18,5}{0,196} = 28,6 \text{ років.}$$

Залишковий ресурс: $\tau_{\text{залишк.рес.}} = 28,6 - 25 = 3,6 \text{ років} > 2$.

Висновок: Контроль згинів 426x24 в наступний ППР не обов'язковий. Це означає, що 14 згинів не потрібно піддавати контролю. А це складає 12,4% від загальної кількості елементів системи і відповідною витратою часу на проведення цього контролю.

Висновки

1. На даному етапі найбільш прийнятним є прогнозування зносу трубопроводів з використанням регресійних залежностей, що будуються за вимірами товщини стінок трубопроводів.

2. Отримані залежності для прогнозування зносу окремих елементів з точністю 9%. При прогнозуванні

зносу елементів трубопроводів технологічних систем, які не мають замірів, точність розрахунку дорівнює 10%.

3. При прогнозуванні зносу трубопроводів другого контуру АЕС для окремих елементів можна використовувати лінійну залежність. При об'єднанні елементів у групи потрібно використовувати експоненційну залежність. Максимальна похибка визначення прогнозованої товщини стінки за отриманими рівняннями дорівнює 10,4%

Література

1. Pipe break causes Авария на АЭС Сарри [Текст] // Атомная техника за рубежом. - 1987. - № 10. - С. 43.
2. Secondary Piping Rupture Accident of Mihama Power Station, Unit 3 [Текст] // The nuclear industrial Safety Agency (Japan). - 2005. - 116 p.
3. Кастнер В., Защита трубопроводов от коррозионной эрозии [Текст] / Хофнер Х., Реснер Р. // Атомная техника за рубежом. - 1993. - Т.3, вып. 4. - С. 286-294.
4. Спеллер Ф. Н. Коррозия железа, ее причины и предупреждение [Текст]. - Л.-М.: ОНТИ НКТП, 1936. - 420 с.

УДК 004.942:621.644

ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНА МОДЕЛЬ ТЕЧІЇ ВОДИ У ТРУБОПРОВОДІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

В. Г. Неня

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра інформатики*
E-mail: nenja_vg@sumdu.edu.ua

Ю. В. Парфененко

Аспірант
Кафедра електроніки та комп'ютерної техніки*
E-mail: yuliyar86@list.ru

*Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, Україна, 40007
Контактний тел.: (0542) 78-07-99

Запропоновано математичну модель для визначення температури потоку, параметрів води на виході з труби та втрат тиску на тертя в залежності від температури на вході

Ключові слова: математичне моделювання, теплоносій, параметри, система теплопостачання

Предложена математическая модель для определения температуры потока, параметров воды на выходе из трубы и потерь давления на трение в зависимости от температуры на входе

Ключевые слова: математическое моделирование, параметры, теплоноситель, система теплоснабжения

Authors propose a mathematical model for determination of temperature of stream, parameters of water on an exit from a pipe and losses of pressure on a friction depending on a temperature on an entrance in a pipe

Key words: mathematical modeling, heat-transfer agent, parameters, heat supply system

1. Вступ

За останнє сторіччя широкого розповсюдження набув спосіб централізованого теплопостачання за до-

помогою трубопроводних систем. Загострення енергетичної кризи, необхідність раціонального використання енергоносіїв, проведення обґрунтованої тарифної політики на теплову енергію для споживачів, і деякі